

補助プレートを用いた放電加工穴のダレ抑制に関する研究

香川勝一*

Study on Diminishing the Corner Dullness of Machined Hole by EDM Using Assisting Plate

by

Masakazu KAGAWA

(received on Mar.12,2002 & accepted on July 10,2002)

Abstract

It is well known that when the hole machining is carried out by EDM(Electrical Discharge Machining) using a straight electrode pipe, the hole diameters became different at the inlet and outlet of the machined hole. This shape irregularity is caused by wear of the electrode and eroded particles. In a previous paper, a method was proposed for diminishing the diameter differences of the hole by EDM using a stepped electrode pipe. Experiments revealed that the difference in the diameters of a hole is diminished by EDM using a stepped electrode pipe but the corner dullness of the machined hole is caused by electrolysis.

In this paper, a new method is proposed for diminishing the corner dullness of a machined hole by EDM using an assisting plate. The following experimental results were obtained.(1) The corner dullness of a machined hole is diminished by using an assisting plate.(2) Hole machining from rough to fine surface finishing without corner dullness is possible changing the condenser capacity by using an assisting plate and stepped electrode pipe.

Keywords: EDM, Assisting plate, Corner dullness, Stepped electrode pipe, Rough to fine surface finishing

1. 緒 言

放電加工は、導電性材料であれば硬さに関係なく、非接触で加工ができ、かつバリも生じないことから、金型加工¹⁾、各種精密部品等の加工²⁾に用いられているが、各種穴加工³⁾にも用いられている。

放電穴加工には、パイプ電極を用いて加工を行う方法と中実電極を用いて加工を行う方法があるが、いずれの方法を用いてもストレート電極を用いて穴加工を行うと、電極消耗⁴⁾と放電屑⁵⁾の影響により加工入口側の穴直径が出口側のそれに比して大きくなり、テーパ形状の穴が形成される。そこで、穴のテーパ形状をできるかぎり小さくする方法として、段付電極を用いる加工法が提案⁶⁾されている。この方法を用いればほぼストレートな穴を加工することが可能であるが、加工液に純水を用いて加工を行うと、電解現象⁷⁾により加工穴の入口と出口においてダレが生じる。

本研究では、ストレート加工穴の入口と出口に生じるダレを抑制する目的で、補助プレートを用いて穴加工を行う方法を新たに提案し、その効果について実験的に検討を行った。

2. 実験方法

2.1 試験片

加工物には SUS304 を用い、その形状・寸法は直径 $\phi 13\text{mm}$

*工学部動力機械工学科助教授

で、高さ 3.00, 5.00, 10.00 mm の円柱試験片とした。

2.2 放電加工機

穴加工に用いた放電加工機の全体機構の概略を Fig.1 に示す。穴加工に際しては、まず加工物①に垂直になるように電極②を取り付け、次いで加工液タンクよりポンプにより加工液を加工物の上部側から下部側に流れるように供給する。最後に、電極を駆動モータ③とボールねじ④により適当な送り速度で送り加工を行う。これで加工が行われるが、放電屑の排出が十分でないと、電極と加工物間で短絡が生ずるので、放電屑の排出を促進する目的で、電極パイプに一定の周期で上下動するジャンピングをモータ⑤と偏心軸⑥により与えた。電極の送り量は、電

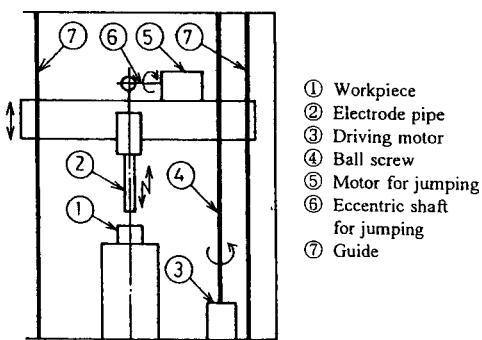


Fig.1 Mechanism of EDM machine

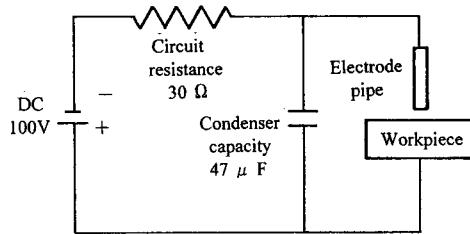
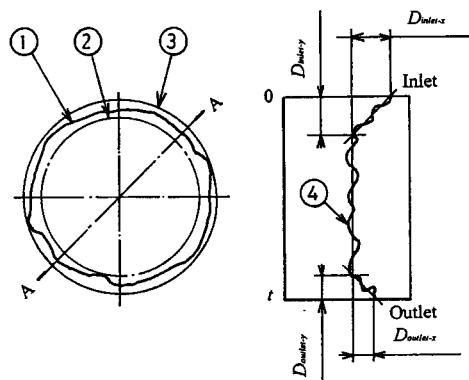


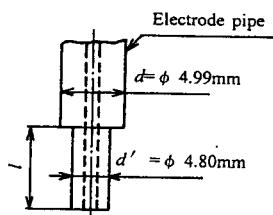
Fig.2 RC circuit for EDM



(a) Transcription shape of machined hole
(b) Profile and dullness of machined hole
① Transcription shape of machined hole
② Maximum inscribed circle
③ Circumscribed circle
④ Profile of machined hole

Fig.4 Evaluation method of machined hole

(a) Electrode pipe of before and after machining



(b) Forms and dimensions of stepped electrode pipe



(c) Appearance of machined stepped electrode pipe

Fig.3 Machining of stepped electrode pipe

極の消耗を考慮して加工物高さの2倍とした。

なお、本加工機の電極の送り量範囲における送り精度は、ダイヤルゲージ(ミツトヨ製のハイケータ、最小目盛 $0.5 \mu\text{m}$)を用いて測定した結果 $3 \mu\text{m}$ であった。

2.3 放電回路

穴加工を行うための放電回路は Fig.2 に示す直流電源、抵抗、コンデンサより構成されるコンデンサ放電回路(RC回路)を用いた。RC回路の直流電源電圧と抵抗値は 100V と 30Ω の一定値とし、コンデンサ静電容量は $47 \mu\text{F}$ とした。穴加工に際しては、加工物を(+)、電極を(-)とする正極性で加工を行った。

2.4 電極作成法

電極は、ストレート電極と段付電極を用いたが、ストレート

Table 1 Machining conditions

Workpiece	SUS304, $\phi 13 \times 3.00, 5.00, 10.00\text{mm}$
Material of electrode	Cu
Diameter of straight electrode pipe	$d = \phi 4.99\text{mm}$
Diameter of stepped electrode pipe	$d = \phi 4.99\text{mm}, d' = \phi 4.80\text{mm}$
Feed of electrode	$0.133 \sim 4.00 \mu\text{m/sec}$
Amplitude of jumping	$210 \mu\text{m}$
Cycle of jumping	0.1sec
Working fluid	De-ionized water
Specific resistance of working fluid	$6.0 \sim 12.0 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$
Amount of flow of working fluid	190ml/min
RC circuit	
· Unload voltage	100V
· Circuit resistance	30Ω
· Condenser capacity	$47 \mu\text{F}$
· Polarity	Workpiece +, Electrode -

電極は穴加工用に市販されている Fig.3(a)の(i)に示す呼び径 $d = \phi 5.00\text{mm}$ (実測値 $\phi 4.99 \pm 0.01\text{mm}$)のパイプ(ソデック社製)を用いた。段付電極の形状寸法は、ストレート電極による実験結果を参考にして決定した。すなわち、ストレート電極を用いて高さ $3.00, 5.00, 10.00\text{mm}$ の加工物を加工した際に、Fig.3(a)の(ii),(iii)および(iv)に示すように電極先端部が消耗するので、Fig.3(b)に示す段付電極 d' の長さ t は加工物高さ $3.00, 5.00$ および 10.00mm で、それぞれ $15, 20$ および 30mm とした。また、段付電極の直径 d' はコンデンサ静電容量 $47 \mu\text{F}$ の放電間隙が 0.045mm であったので、段付電極による加工法の研究結果⁶⁾を参考にして $\phi 4.80\text{mm}$ とした。段付電極の作成に際しては、ボール盤にストレート電極を取り付け、その一端をブッシュに挿入し、回転を与え、エメリ研磨紙 #800 を用いて $d' = \phi 4.80 \pm 0.01\text{mm}$ に成形した。段付電極の作成例を Fig.3(c)に示す。

2.5 加工穴の評価法

加工穴の評価に際しては、内接円中心法⁷⁾を用いた。すなわち、Fig.4(a)に示すように加工穴の転写形状①に内接する内接円②と外接円③を求め、内接円②を穴直径とし、外接円③と内接円②の半径差を真円度とする方法である。また、加工穴の軸方向の形状測定については、Fig.4(a)に示す加工穴の中心を含む例えばA-Aで縦断面を行い、加工入口側から0.2mm間隔に穴直径を測定し、同図(b)に示す軸方向形状④を求めた。次いで、加工入口と出口に形成されるダレの評価に際しては、Fig.4(b)に示すように加工入口と出口のダレの幅を $D_{inlet-x}$ と $D_{outlet-x}$ とし、 $D_{inlet-y}$ と $D_{outlet-y}$ を加工入口と出口のダレ深さとして評価を行った。

上記項目およびその他の加工条件をTable1に示す。

3. 実験結果および考察

3.1 従来のストレート電極パイプを用いた穴加工

高さ3.00, 5.00および10.00mmの加工物に、直徑 $\phi 4.99\text{mm}$

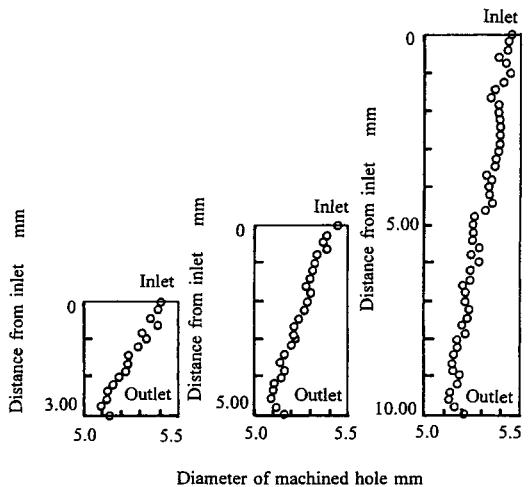


Fig.5 Relation between distance from inlet and diameter of machined hole by using straight electrode pipe

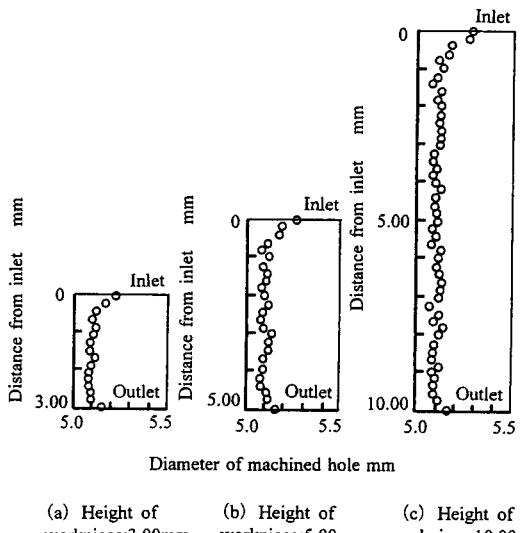


Fig.6 Relation between distance from inlet and diameter of machined hole by using stepped electrode pipe

のストレート電極パイプを用いて加工を行ったときの穴の軸方向形状をFig.5に示す。図より、いずれの加工物高さの場合も加工入口側の穴直径が大きく、加工出口側に向かって穴直径が減少していくテーパ形状になることがわかる。

このような穴形状が形成されるのは、加工入口側では穴が貫通するまで放電屑を含んだ加工液が排出され、これが原因で電極→放電屑→加工物間に2次放電が生じて穴直径の拡大⁶⁾が生ずるが、この際2次放電の影響が電解現象によるそれに比して大きいために加工入口側にダレが生じないものと考えられる。また、加工出口側では穴が貫通していることにより放電屑をほとんど含まない加工液となるので、2次放電の影響が小さく、ほぼ電解現象による影響だけとなり、それによりダレが生じ、上記のようなテーパ形状の穴が形成されるものと考えられる。

図より、各加工物高さのときの加工穴出口のダレを2.5項に示した方法を用いて求めると、加工物高さ3.00mmで $D_{outlet-x}=0.04\text{mm}$, $D_{outlet-y}=0.20\text{mm}$, 5.00mmで $D_{outlet-x}=0.06\text{mm}$, $D_{outlet-y}=0.28\text{mm}$, 10.00mmで $D_{outlet-x}=0.06\text{mm}$, $D_{outlet-y}=0.26\text{mm}$ となり、加工物高さが変化してもダレの幅と深さはほぼ一定であることがわかる。

3.2 従来の段付電極パイプを用いた穴加工

高さ3.00, 5.00および10.00mmの加工物に、直徑 $d=\phi 4.99\text{mm}$ と $d'=\phi 4.80\text{mm}$ の段付電極パイプを用いて加工を行ったときの穴の軸方向形状の一例をFig.6に示す。図より、いずれの加工物高さの場合も加工入口と出口にダレが生じるが、ほぼストレートな穴形状になることがわかる。

段付電極を用いた穴加工では、電極→放電屑→加工物間の2次放電の影響ができるだけ小さくするために、まず直徑 d' の部分で貫通穴を開け、その後直徑 d の部分で加工を行うので、加工入口と出口ではほぼ電解現象による影響だけとなり、いずれにもダレが生ずるものと考えられる。

加工物高さ3.00, 5.00および10.00mmについて、上記と同一の加工条件で繰り返し穴加工を行ったときの加工入口と出口のダレの測定結果をTable2に示す。表より、ストレート電極の場合と同様に、加工出口のダレの幅と深さは加工物高さが変化してもほぼ一定であることがわかる。また、加工入口のダレの幅と深さは加工物高さが一定であればほぼ一定であるが、加工物高さが高くなるにつれて、ダレの生じている幅と深さが大きくなることがわかる。これは、加工入口が出口に比して電解現象

Table 2 Corner dullness of machined hole by using stepped electrode

Height of workpiece t mm	Corner dullness mm			
	Inlet		Outlet	
	$D_{inlet-x}$	$D_{inlet-y}$	$D_{outlet-x}$	$D_{outlet-y}$
3.00	0.11	0.49	0.04	0.26
	0.12	0.48	0.04	0.20
	0.13	0.50	0.05	0.22
5.00	0.16	0.52	0.06	0.28
	0.18	0.54	0.06	0.28
	0.19	0.50	0.05	0.26
10.00	0.20	0.82	0.05	0.20
	0.22	0.80	0.06	0.26
	0.24	0.86	0.06	0.28

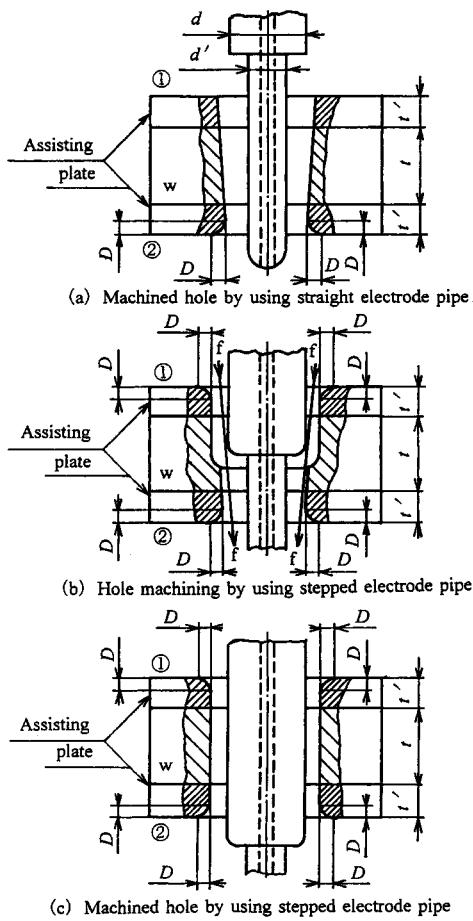


Fig.7 Schematic explanation for hole machining by using assisting plate

の影響を長く受けることによると考えられる。

3.3 補助プレートを用いた穴加工

前述したように、従来の穴加工法を用いて加工を行った場合、加工穴の入口と出口にダレが生じることが示された。そこで、加工穴の入口と出口のダレを抑制する目的で、補助プレートを用いて穴加工を行う方法を新たに提案する。この方法による穴の加工過程について以下に述べる。

高さ t の加工物 w を 2 枚の補助プレート t' で挟み、直径 d と d' からなる段付電極を用いて穴加工を行う場合について Fig.7 に示す。まず、Fig.7(a)は段付電極の直径 d' によって加工される穴の形状を示す。図に示すように、直径 d' によって加工される加工穴は前記ストレート電極による加工の場合と同様に、加工出口側②に比して入口側①が大きくテーパ形状の穴が形成される。また、加工出口の補助プレート t' 部分には、電解現象によるダレ D が生じる。

次いで、Fig.7(b)に示すように、電極をさらに送り込むと、直径 d の電極によって①側から穴加工が行われる。このときの穴加工においては、加工液 f は②側より排出されるようになってるので、①側で 2 次放電は生じず、穴直径の拡大は生じない。

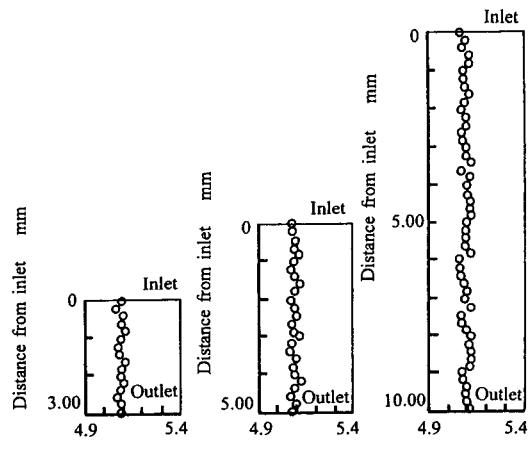
最後に、直径 d の電極の消耗を考慮して電極の送り量を加工物高さの 2 倍とすれば、Fig.7(c)に示すようなストレートな穴形状になり、①側と②側の補助プレート t' にはダレ D が生じるが、加工物に形成される穴の部分にはダレが生じないはずである。

Table 3 Corner dullness of machined hole by using assisting plate

T.a.p. t' mm	H.w. t mm	Corner dullness mm			
		Inlet		Outlet	
		$D_{inlet-x}$	$D_{inlet-y}$	$D_{outlet-x}$	$D_{outlet-y}$
0.2	3.00	0.08	0.30	—	—
	5.00	0.12	0.36	0.03	0.08
	10.00	0.20	0.70	0.02	0.06
0.4	3.00	0.03	0.08	—	—
	5.00	0.06	0.16	—	—
	10.00	0.15	0.50	—	—
0.6	3.00	—	—	—	—
	5.00	—	—	—	—
	10.00	0.08	0.22	—	—
0.8	10.00	0.03	0.10	—	—
1.0	10.00	—	—	—	—

T.a.p.:Thickness of assisting plate

H.w.:Height of workpiece

Fig.8 Relation between distance from inlet and diameter of machined hole by using assisting plate
(a) Height of workpiece:3.00mm (b) Height of workpiece:5.00mm (c) Height of workpiece:10.00mm

る。

上記の考えに基づき、補助プレートの厚さを 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 および 1.0mm と変化させて、2.4 項に示した段付電極を用いて加工を行ったときの加工穴のダレについて測定した結果を Table 3 に示す。表より、加工入口と出口のダレは補助プレートの厚さが厚くなるにつれて小さくなり、補助プレートの厚さが前記段付電極を用いたときのダレ深さより厚くなるとダレが生じないことがわかる。すなわち、加工入口のダレは加工物高さ 3.00 と 5.00mm では補助プレートの厚さが 0.6mm で、加工物高さ 10.00mm では補助プレートの厚さ 1.0mm でダレが生じないことがわかる。また、加工出口のダレは、いずれの加工物高さの場合も補助プレートの厚さが 0.4mm になるとダレが生じないことがわかる。

以上述べたように、補助プレートを用いれば加工入口と出口に形成されるダレは抑制できることがわかった。ここで、補助プレートを用いて加工を行ったときの加工穴の軸方向形状の一例を Fig.8 に示す。図より、いずれの加工物高さの場合もほぼストレートな穴形状で、加工入口と出口にはダレの生じていな

Table 4 Circularity deviation of machined hole

Machining methods	Height of workpiece t mm	Circularity deviation mm Inlet/Outlet
S.p.	3.00	0.12/0.11
	5.00	0.14/0.12
	10.00	0.16/0.11
S.t.p.	3.00	0.10/0.09
	5.00	0.10/0.09
	10.00	0.12/0.10
A.p.	3.00	0.08/0.08
	5.00	0.08/0.08
	10.00	0.10/0.10

S.p.:Straight electrode pipe method

S.t.p.:Stepped electrode pipe method

A.p.:Assisting plate method

いことがわかる。

ここで、上記述べてきた各穴加工法による穴の真円度の測定結果を Table 4 に示す。表より、加工穴の真円度は加工法がストレート電極法(S.p.)→段付電極法(S.t.p.)→補助プレート法(A.p.)となるにつれて小さくなり、S.t.p.と A.p.では加工入口と出口のそれがほぼ等しくなることがわかる。また、電解現象の影響を受ける S.t.p.に比してその影響を受けない A.p.の真円度が小さくなることがわかる。

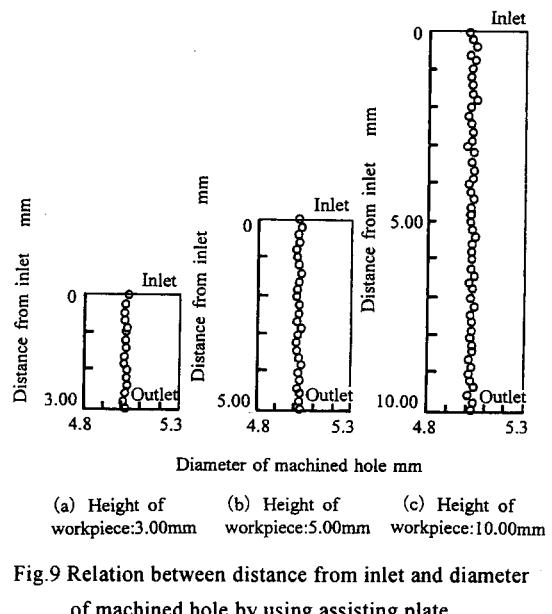
以上より、放電屑と電解現象の影響を受けない補助プレート法による穴加工を行えば、ストレート電極あるいは段付電極を用いた場合に比して真円度が小さくなることがわかった。

以上の実験結果に基づき、補助プレートと段付電極を用いて、設定直径 $\phi 5.00\text{mm}$ を持ち、コンデンサ静電容量 $47\mu\text{F}$ だけを用いた場合に比して真円度が小さい穴加工を行う場合について以下に述べる。

その方法は、補助プレートで加工物を挟み込み、段付電極の直径 d' による穴加工には静電容量の大きいコンデンサを用い、直径 d による穴加工には静電容量の小さいコンデンサを用いる方法である。すなわち、いずれの加工物高さの場合も入口側の補助プレート厚さは 1.0mm とし、出口側のそれは 0.4mm とした。また、段付電極の直径 d' による穴加工にはコンデンサ静電容量 $47\mu\text{F}$ を用い、直径 d による穴加工にはコンデンサ静電容量 $1.0\mu\text{F}$ を用いる方法である。ただし、電極直径 d はコンデンサ静電容量 $1.0\mu\text{F}$ の放電間隙が 0.025mm であったので($5.00 - 2 \times 0.025\text{mm}$)より $\phi 4.95\text{mm}$ とした。また、直径 d' はコンデンサ静電容量 $47\mu\text{F}$ の放電間隙によって生じる穴の拡大しろを考慮して $\phi 4.60\text{mm}$ とした。

なお、2.4 項で示したように、段付電極 d' の長さ l は加工物高さ $3.00, 5.00$ および 10.00mm で、それぞれ $15, 20$ および 30mm としたので、電極をそれぞれ $15, 20$ および 30mm 送った時点でのコンデンサを $47\mu\text{F}$ から $1.0\mu\text{F}$ に変換して加工を行った。

上記加工条件で加工を行ったときの加工穴の入口側と出口側の穴直径は、加工物高さ 3.00mm で $\phi 5.01\text{mm}$ と $\phi 5.00\text{mm}$ 、加工物高さ 5.00mm で $\phi 5.00\text{mm}$ と $\phi 4.99\text{mm}$ 、加工物高さ 10.00mm で $\phi 4.99\text{mm}$ と $\phi 5.00\text{mm}$ となり、ほぼ設定直径の加工穴となつた。また、加工入口側と出口側の真円度は、加工物高さ 3.00mm で 0.07mm と 0.06mm 、加工物高さ 5.00mm で 0.06mm と 0.06mm 、加工物高さ 10.00mm で 0.06mm と 0.07mm となり、コンデンサ



(a) Height of workpiece:3.00mm (b) Height of workpiece:5.00mm (c) Height of workpiece:10.00mm

Fig.9 Relation between distance from inlet and diameter of machined hole by using assisting plate

静電容量 $47\mu\text{F}$ だけを用いた場合に比して小さい真円度になつた。これらの加工穴の軸方向の形状を Fig.9 に示す。図より、軸方向形状の凹凸も Fig.8 に示したコンデンサ静電容量 $47\mu\text{F}$ だけを用いた場合のそれ比して小さくなることがわかる。

以上より、補助プレートで加工物を挟み込み、段付電極の直径 d' による穴加工には静電容量の大きいコンデンサを用い、直径 d による穴加工には静電容量の小さいコンデンサを用いれば、ダレのないストレートな設定直径穴を加工できることがわかつた。また、真円度が小さく、軸方向形状の凹凸も小さくなるので、穴の粗仕上げ加工から仕上げ加工に至る加工ができることがわかつた。

4. 結 言

本研究では、ストレート加工穴の入口と出口に生じるダレを抑制する目的で、補助プレートを用いて穴加工を行う方法を新たに提案し、その効果について実験的に検討を行つた。その結果以下の事柄が明らかとなつた。

(1) 従来のストレート電極を用いて穴加工を行うと、加工入口側の穴直径が大きく、加工出口側に向かって穴直径が減少していくテープ形状になり、加工出口にはダレが生じる。

(2) 従来の段付電極を用いて穴加工を行うと、ほぼストレートな穴形状の穴加工を行うことができるが、加工入口と出口にはダレが生じ、加工入口のダレは加工物高さが高くなるにつれて大きくなる。また、加工出口のダレは加工物高さが変化してもほぼ一定である。

(3) 新たに提案した補助プレートを用いて穴加工を行えば、加工穴のダレを抑制できる。

(4) 補助プレートと段付電極を用い、コンデンサ静電容量を変化させて加工を行えば、ダレのない穴の粗仕上げ加工から仕上げ加工に至る加工ができる。

参考文献

- 1) 高木六弥、「金型工作法」、日刊工業新聞社、1987.
- 2) マイクロ加工技術編集委員会編、「マイクロ加工技術—第2版—」、日刊工業新聞社、1988.
- 3) 向山芳世、「形彫・ワイヤ放電加工マニュアル」、大河出版、

1989.

- 4) 中島宣洋：放電加工機による小径穴の高速・高精度加工，
機械技術，Vol.44(1996),No.5,42.
- 5) 増沢隆久他 2 名：放電微細加工における加工くずの影響，
精密機械，Vol.37(1971),No.9,680.
- 6) 香川勝一：段付電極パイプによるストレート微細穴放電加工に関する研究，精密工学会誌，Vol.65(1999),No12.1793.
- 7) 日本機械学会編，「機械工学便覧 B2 加工学，加工機器」，
丸善，1992.